

УДК 620.193:622.692.4

А.Ю. Яценко<sup>1</sup>; Д.Р. Латыпова<sup>1</sup>; М.А. Бондарь<sup>1</sup>; О.Р. Латыпов<sup>1</sup>, e-mail: o.r.latyrov@mail.ru<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский государственный нефтяной технический университет» (Уфа, Россия).

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ КОРРОЗИИ ТРУБНЫХ СТАЛЕЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В БОЛОТИСТОМ ГРУНТЕ

В статье описан метод исследования скорости коррозии трубных сталей на лабораторном стенде, имитирующем условия эксплуатации трубопроводов в болотистом грунте. Рассмотрены механизмы коррозии сталей 09Г2С и Ст3 в грунтах с повышенным содержанием сероводорода и наличием микроорганизмов, исследованные путем эмпирических испытаний на основе приведенной методики. Длительность эксперимента на лабораторном стенде составила два месяца, после чего состояние образцов было оценено визуально и гравиметрическим методом. Результаты гравиметрических испытаний показали, что образцы из Ст3 были подвержены меньшему разрушению в среде с более высоким содержанием сероводорода, тогда как при повышенном содержании микроорганизмов в грунтах большую стойкость к коррозии продемонстрировала сталь 09Г2С.

**Ключевые слова:** защита от коррозии, грунтовая коррозия, кислотная коррозия, трубопроводный транспорт.



В настоящее время в Российской Федерации большая часть добываемой нефти транспортируется с помощью нефтепроводов, которые в основном прокладываются под землей, в связи с чем подвергаются грунтовой коррозии. При этом грунтовая коррозия стальных трубопроводов, являющаяся электрохимической по механизму протекания, провоцирует развитие таких локальных видов коррозионных процессов, как язвенная и точечная коррозия [1].

Для защиты от разрушения металла труб применяются в основном изоляционные покрытия и элект-

рохимическая защита. Однако из-за того, что вдоль трассы прохождения нефтепроводов на разных участках состав грунта, его влажность и другие параметры значительно различаются, скорость протекания коррозионных процессов в этих средах также будет сильно дифференцирована.

### ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В БОЛОТИСТЫХ ГРУНТАХ

Наибольшему разрушению подвергаются трубопроводы, проходящие через болотистые грунты, что было отмечено многочисленными иссле-

дованиями и легко подтверждается теоретически [2, 3].

Основными причинами разрушения магистральных трубопроводов в болотистых грунтах являются [4]:

- высокая влажность и кислотность среды;
- наличие сернистых соединений;
- присутствие большого количества углекислого газа;
- воздействие различных микроорганизмов.

Покрытия усиленного типа, применяемые для замедления коррозионного процесса на данных участках, не всегда дают удовлетворительный результат, что об-

Состав среды в емкостях № 1–4 лабораторного стенда

Добавка, формирующая среду	Чернозем		Песок	
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4
Вода с содержанием сероводорода, мл	450	250	450	250
Болотная вода, мл	50	250	50	250

условлено высокой агрессивностью среды. Из-за одновременного воздействия кислой среды и микроорганизмов однородность покрытия нарушается. В появившиеся дефекты в покрытии попадают влага и клетки коррозионно-опасных микроорганизмов, в результате чего металл трубопровода на данных участках усиленно корродирует [5, 6].

Чтобы защитить от разрушения участки трубопровода, проходящие через болотистый грунт, необходимо применять комплексные меры защиты, которые, однако, не всегда могут продлить срок службы трубопровода. Поэтому, чтобы увеличить срок службы нефтепроводов, рекомендуется помимо применения усиленного типа защитного покрытия и установки современных станций катодной защиты использовать при строительстве и реконструкции трубопровода в качестве материала труб сталь, наиболее стойкую к воздействию данной среды [7].

Чтобы оценить коррозионную стойкость трубной стали в среде болотистого грунта, следует выявить значимость основных факторов, представляющих наибольшую опасность для металла трубопровода. Согласно многочисленным исследованиям [8, 9], одними из самых опасных коррозионных факторов являются сера и ее соединения, в частности сероводород, который нередко встречается в болотистых грунтах.  $H_2S$  представляет для трубопроводов большую опасность из-за способности даже в малых количествах вызвать разрушение металла. В частности, сероводород нередко является причиной возникновения локальной коррозии,

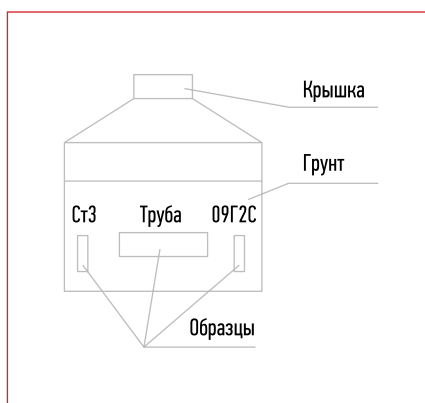


Рис. 1. Схема лабораторного стенда для определения коррозионной стойкости трубных сталей в болотистом грунте

выступая в качестве деполяризатора. Кроме того, сероводород опасен способностью ускорять диффузию водорода в металл, вызывая наводороживание и коррозионное растрескивание под напряжением, которые увеличивают хрупкость стали [10, 11].

Немалую роль в разрушении металла в болотистых грунтах играет также присутствие анаэробных и аэробных бактерий, которые являются неотъемлемой частью фауны болот. Процессы жизнедеятельности бактерий могут стимулировать коррозионный процесс [12, 13]. Некоторые бактерии обладают способностью прямо или косвенно влиять на техническое состояние защитных покрытий, вызывая их преждевременное разрушение. Повышенная влажность и кислотность болотистых грунтов ускоряют процесс анодного растворения металла, что в комплексе с другими факторами может привести к быстрому появлению локальных разрушений трубопровода вплоть до образования сквозных повреждений [14].

### ОЦЕНКА КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ТРУБНОЙ СТАЛИ В СРЕДЕ БОЛОТИСТЫХ ГРУНТОВ

Чтобы определить влияние внешних факторов на коррозионную стойкость сталей, применяемых при строительстве трубопроводов в среде болотистых грунтов, был предложен эксперимент искусственного разрушения металла и защитного покрытия, проведенный на лабораторном стенде. Для этого в четыре герметичные емкости были помещены образцы из сталей Ст3 и 09Г2С в виде труб и пластин (рис. 1). В целях исключения коррозии внутритрубного пространства образцы с обеих сторон были изолированы герметиком. Для имитации условий эксплуатации труб в болотистых грунтах, которые различаются в том числе в зависимости от района страны, применяли четыре различных состава сред. В емкости № 1 и 2 поместили 3 л чернозема, в емкости № 3 и 4 – песок в том же объеме. Кроме того, в емкости добавили воду, содержащую сероводород и микроорганизмы. В емкости № 2 и 4 было, соответственно, добавлено 250 мл воды с сероводородом и 250 мл воды из болота с содержанием анаэробных и аэробных микроорганизмов. В емкости № 1 и 3 было добавлено 450 мл воды с сероводородом и 50 мл воды из болота с содержанием анаэробных и аэробных микроорганизмов (табл.).

Как видно из таблицы, во всех четырех емкостях влажность грунта была одинакова и неизменна в течение эксперимента, поскольку емкости были герметизированы. Эксперимент продолжали в течение 2 мес, после чего состояние

образцов было оценено визуально и гравиметрическим методом.

Было установлено, что основное разрушение у образцов труб произошло в нижней части, где по результатам исследования было зафиксировано наибольшее число коррозионных язв. В графическом выражении результаты гравиметрических испытаний образцов из сталей Ст3 и 09Г2С представлены на рис. 2.

Как видно из рис. 2, образцы из Ст3 подвержены меньшему разрушению в среде с более высоким содержанием сероводорода. Однако при повышенном содержании микроорганизмов как в песке, так и в черноземе более стойкой к коррозии оказалась сталь 09Г2С.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования подтвердили высокую коррозионную опасность участков болотистых грунтов. Экспериментальные сравнения коррозионной стойкости сталей

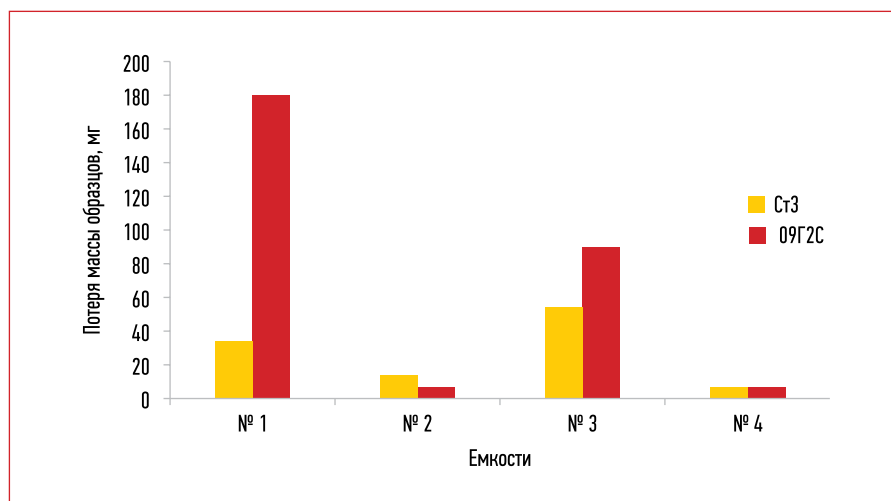


Рис. 2. Результаты гравиметрических испытаний

09Г2С и Ст3 показали, что Ст3 имеет более высокую стойкость в грунте с высоким содержанием сероводорода, однако в среде с повышенным содержанием микроорганизмов лучше себя показали образцы из стали 09Г2С.

Таким образом, для разных участков нефтепровода, находящихся в гете-

рогенных условиях, рекомендуется подбирать соответствующую марку трубной стали. Для полноценной оценки коррозионного состояния металла трубы в грунтовых условиях необходимо проводить стендовые или опытно-промышленные испытания, позволяющие выявить реальную скорость коррозии.

### Литература:

1. Латыпов О.Р., Латыпова Д.Р., Бугай Д.Е., Рябухина В.Н. Предупреждение накопления электростатического заряда на поверхности нефтепромыслового оборудования // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 3 (105). С. 25–34.
2. Яценко А.Ю., Латыпов О.Р. Разрушение магистральных трубопроводов в болотистых грунтах // Актуальные проблемы науки и техники – 2017: материалы X Международной научно-практической конференции молодых ученых. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2017. Т. 1. С. 29–31.
3. Яценко А.Ю., Латыпов О.Р., Малинина Т.В. Коррозия магистрального трубопровода на стыке подземного и наземного участков // Материалы 67-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. Кн. 1. С. 224–225.
4. Яценко А.Ю., Латыпов О.Р. Оценка коррозионных факторов при эксплуатации трубопроводов в болотистых грунтах // Материалы 68-й научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых Уфимского государственного нефтяного технического университета. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2017. Кн. 1. С. 387.
5. Латыпов О.Р., Латыпова Д.Р., Бугай Д.Е., Рябухина В.Н. Особенности применения агрегата для модифицирования технологических жидкостей нефтепромыслов // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 3. С. 66–71.
6. Латыпов О.Р. Влияние магнитогидродинамической обработки пластовых сред, содержащих сульфатвосстанавливающие бактерии, на скорость и характер коррозии трубной стали // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2007. № 4 (70). С. 71–76.
7. Cueli Corugedo A., Latypov O.R., Latypova D.R., Adames Montero Y. Protección de la Tubería Principal Contra la Corrosión en Áreas Complejas // Ingeniería Mecánica. 2019. Vol. 22. № 1. P. 74–78.
8. Скуридин Н.Н., Латыпова Д.Р., Печенкина М.Ю. и др. Формирование противокоррозионных пленок на металле нефтепромыслового оборудования методом поляризации технологических жидкостей // Нефтяное хозяйство. 2018. № 5. С. 84–86.
9. Латыпов О.Р., Бугай Д.Е., Рябухина В.Н. Влияние анолита и католита на жизнедеятельность микрофлоры и микрофауны нефтяных месторождений // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2016. № 2 (104). С. 28–41.
10. Чучкалов М.В. Разработка технологии стресс-теста газопроводов для их реабилитации после капитального ремонта // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. 2013. № 1. С. 18–22.
11. Чучкалов М.В., Аскарлов Р.М. Особенности проявления поперечного коррозионного растрескивания под напряжением // Газовая промышленность. 2014. № 3 (703). С. 37–39.
12. Латыпова Д.Р., Латыпов О.Р., Бугай Д.Е. Влияние электродного потенциала на глубину проникновения питтинговой коррозии в поверхностные структуры лакированной стали // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10. № 3. С. 167–178.
13. Усманов Р.Р., Чучкалов М.В., Зозулько Р.А. и др. О возможности выявления очагов подпленочной коррозии газопроводов по эмиссии водорода // Газовая промышленность. 2019. № 1 (779). С. 100–104.
14. Латыпов О.Р., Яценко А.Ю., Латыпова Д.Р. и др. Защита от коррозии магистрального трубопровода в области переходов «грунт – воздух» // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 4. С. 151–157.